

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-246483

(43)Date of publication of application : 26.09.1995

BEST AVAILABLE COPY

(51)Int.Cl.

B23K 26/00

B23K 26/12

B23K 26/18

C21D 7/06

(21)Application number : 06-038662

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 09.03.1994

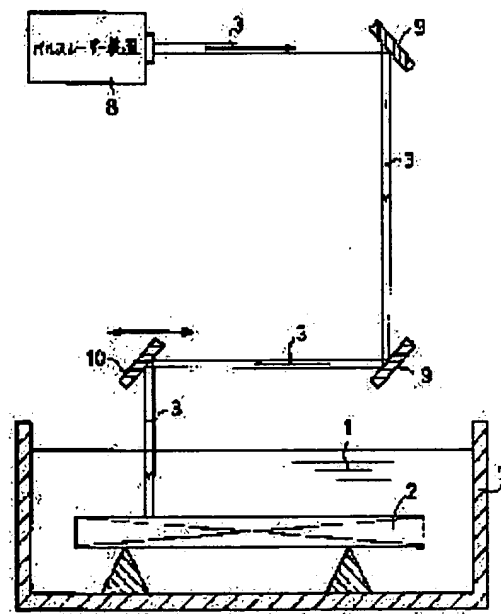
(72)Inventor : ITO ARATA  
SHIMIZU MITSUKO  
AOKI NOBUTADA  
MUKAI SHIGEHICO  
OBATA MINORU  
SATO KATSUHIKO

## (54) LASER PEENING METHOD

## (57)Abstract:

**PURPOSE:** To execute stress condition change of the metal surface not requiring reaction force compensation so as to increase working efficiency and improve reliability.

**CONSTITUTION:** The surface of a work 2 is irradiated with a laser beam 3 from a pulse laser device 8 through a reflection mirror 9 and traveling reflection mirror 10. The work 2 is placed in a transparent liquid 1, with the traveling reflection mirror 10, by irradiating the laser beam 3 while changing an irradiating position on the surface of the work 2, compression stress is made remained on the surface of the material 2 to be worked.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

18.08.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-246483

(43) 公開日 平成7年(1995)9月26日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

B 2 3 K 26/00

E

26/12

26/18

C 2 1 D 7/06

B 7217-4K

審査請求 未請求 請求項の数9 O L (全9頁)

(21) 出願番号 特願平6-38662

(22) 出願日 平成6年(1994)3月9日

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 伊藤 新

神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株

式会社東芝横浜事業所内

(72) 発明者 清水 みつ子

神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株

式会社東芝横浜事業所内

(72) 発明者 青木 延忠

神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株

式会社東芝横浜事業所内

(74) 代理人 弁理士 猪股 祥晃

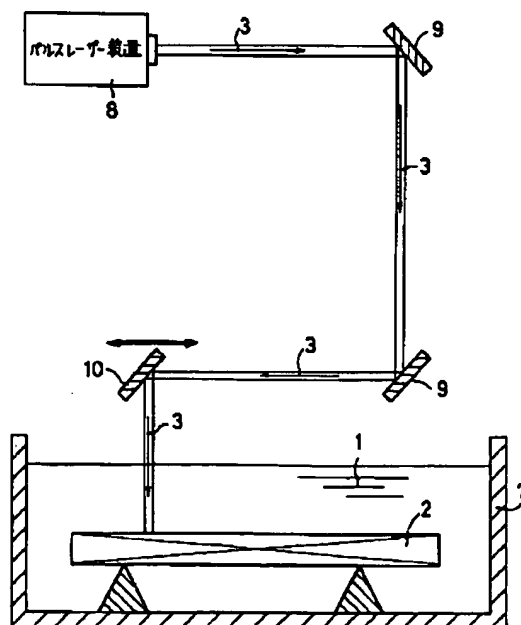
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザーピーニング方法

(57) 【要約】

【目的】 反力補償の必要がない金属表面の応力状態変化を行うことができ、加工上の効率化と信頼性を高める。

【構成】 パルスレーザー装置8からレーザー光3を反射鏡9、移動反射鏡10を通して被加工物2の表面に照射する。被加工物2を透明液体1中に設置し、移動反射鏡10により、被加工物2の表面での照射位置を変えながらレーザー光3を照射して被加工物2の表面に圧縮応力を残留させる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 被加工物を透明液中に設置し、前記被加工物表面上で照射位置を変えながらパルスレーザー光を照射して前記被加工物の表面に圧縮応力を残留させることを特徴とするレーザーピーニング方法。

【請求項2】 前記パルスレーザー光のパルス幅は10psから1μsec以下とし、レーザー光のパルスあたりのエネルギーEと、パルス時間幅tと被加工物上でのレーザースポット面積Sに対して $10^9 < E/(t \times S) < 10^{12}$

[w/cm<sup>2</sup>] の条件を満足させることを特徴とする請求項1記載のレーザーピーニング方法。

【請求項3】 前記被加工物上でのレーザースポット面積を限定範囲に制御するためにレーザー光の発散または集光化学装置を設けることを特徴とする請求項1記載のレーザーピーニング方法。

【請求項4】 前記レーザー光の照射面の近傍に対向して電極を設け、この電極と前記被加工物間に直流またはレーザーパルスに同期させた数10から数100ボルトの電圧を印加することを特徴とする請求項1記載のレーザーピーニング方法。

【請求項5】 前記透明液に電解液を使用し、この電解液中に前記被加工物を設置し、前記レーザー光の照射面に対向して負電極を設け、この負電極と前記被加工物間に直流または前記レーザーパルスに同期させた数ボルトから数10ボルトの電圧を印加することを特徴とする請求項1記載のレーザーピーニング方法。

【請求項6】 前記被加工物の表面にレーザー光を透過しない被覆層を形成し、この被覆層の上方からレーザー光を照射することを特徴とする請求項1記載のレーザーピーニング方法。

【請求項7】 前記被加工物にステンレス鋼を使用し、前記被覆層を形成する前処理として酸化膜を除去してステンレス鋼基材層を露出させた後に前記被覆層を形成し、レーザー光を照射することを特徴とする請求項1記載のレーザーピーニング方法。

【請求項8】 前記被加工物にステンレス鋼を使用した場合の被覆層はAl, Sn, Inの低融点金属, W, Mo, Ta, Nb, Ti, Zr, Hfの高融点金属または、白金, 金, バラジウムの貴金属から選択された少なくとも1種からなり、その被覆層の厚さは低融点金属の場合には、0.05から0.2mm, 高融点金属の場合には0.03から0.15mm, 貴金属の場合には0.03~0.25mmの範囲に選択されることを特徴とする請求項1記載のレーザーピーニング方法。

【請求項9】 前記被加工物がステンレス鋼以外の材料の場合の被覆層が前記被加工物と同一材料からなる場合、その被覆層の厚さは0.2~0.25mmの範囲に選択されることを特徴とする請求項1記載のレーザーピーニング方法。

【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は透明液体中で金属表面の応力状態を所定の値に変化させるレーザーピーニング方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 軽水冷却型原子炉の炉心構造物はオーステナイト系ステンレス鋼またはニッケル基合金などの高温高圧水環境下において十分な耐食性と高温強度を有する材料で構成されている。

【0003】 しかしながら、交換不可能な部材に対してはプラントの長期に亘る運転により長期間高温高圧環境中に曝され、しかもシュラウドなどの炉心材料は中性子照射を受けるため、それらが原因となって起こる材料劣化の問題が懸念されている。特に炉内構造物の溶接部近傍は溶接入熱による材料の鋭敏化および引張り残留応力が形成されているため、潜在的な応力腐食割れ発生の危険性を有している。

【0004】 最近、プラントの運転期間の長期化に対応して予防保全技術対策として種々の材料表面改質技術の開発が行われている。その一環として表面残留応力を積極的に引張りから圧縮に変えることによって応力腐食割れを未然に防止するための対策工法の開発が行われている。例えば、ショットピーニングまたはウォータジェットピーニングなどの方法による表面残留応力改善技術の開発が行われている。

【0005】 ショットピーニングは0.3~1.2mm程度の鋼球を高圧空気あるいは遠心力を利用して加速し、鋼球の運動エネルギーにより施工部表面を塑性変形させることにより表面に圧縮残留応力を形成する技術である。

【0006】 また、ウォータジェットピーニングは、100気圧程度の超高圧水をノズル先端より噴射し水撃作用およびキャビテーションが破壊する際の衝撃波により表面に圧縮残留応力を形成する技術である。いずれも水中での施工により応力腐食割れに対する有効性が実証され一部実用化されている。

【0007】 一方、従来のレーザーを用いた金属材料の表面処理法としては、加熱による焼き入れ、焼きなまし、表面溶融固化によるグレージング（非晶質化）、アロイニング（合金層形成）、クラッディング（高融点材料のコーティング）、瞬間的な蒸発による衝撃硬化がある。これらはそれぞれ材料の表面硬度を制御する処理であったり、耐摩耗性、耐衝撃性、耐腐食性等を向上させることが目的である。

【0008】 軽水冷却型原子炉の原子炉上部室に設置されるシュラウドと原子炉圧力容器との間に設置されている機器および両者の表面の健全性を点検するためにマストまたは棒の先端に水中テレビカメラを取付けた装置が、目視点検用として用いられているが、炉内構造物の表面応力状態を変える作業は行われていない。

【0009】 また、さらに自由度の高い目視点検用の水

3

中遊泳式の点検ロボットが用いられている。しかし、これも目視点検用であり、構造物の表面応力状態を変える作業は行われていない。

【0010】従来のレーザーを用いたショットピーニング方法を図4(a)、(b)によりその基本原理を説明する。

【0011】図4(a)は、透明液体1中に設置した被加工物2にパルスレーザー光3を照射した瞬間を模式的に示したものである。ここで使用する透明液体1は、パルスレーザー光3の波長に対して透明であれば何でも良い。

【0012】照射されている瞬間に被加工物2の表面ではパルスレーザー光3が吸収され、瞬時に極表面のみが加熱され、急激に蒸発し高温高压のプラズマ4が発生する。この瞬間的な高温プラズマ4の噴出によりその反力として衝撃力5が被加工物2に加えられる。この衝撃力5により被加工物2の表面は、圧縮され、塑性変形されることが基本的な現象理解である。

【0013】図4(b)は、パルスレーザー光3の照射が終り、被加工物2の表面に塑性変形が起こっていることを示したものである。これにより圧縮残留応力6が被加工物2の表面に与えられる。

【0014】この現象が発生する場において、透明液体1は、その持つ慣性力により、発生したプラズマ4を閉じ込める効果がある。透明液体1中では、気中や真空中で照射する場合に比較して数10倍以上の衝撃力が得られる。また、透明液体1の冷却作用によりレーザー光3の照射による熱影響を最小限にすることが可能である。このようにして被加工物2の表面に圧縮応力を残留させることができる。

【0015】図5はレーザー光のパワー密度と照射時間による表面現象を示したものであり、たて軸にパワー密度を、よこ軸にパルス幅をとってある。この図5からレーザー光のパルス幅とパワー密度とを選択することによりマイクロ除去、穴明け、切断、熱処理などの加工ができることがわかる。

【0016】図6は種々のレーザー加工のエネルギー範囲を示しており、たて軸にパワー密度を、よこ軸に照射時間をとってある。この図6からもパワー密度と照射時間との関係を選択することにより衝撃硬化、穴開け、グレーズング、溶接切断および焼き入れ加工を行うことができる。

【0017】

【発明が解決しようとする課題】ショットピーニングを用いてシュラウドと原子炉圧力容器の間のアニュラス部などの狭隙部の構造物の表面残留応力を改善する場合にはショットの完全回収が困難であり、また、大気中でショットピーニング作業を行うと、粉塵が発生して困難な作業となる課題がある。

【0018】ウォータージェットピーニングを用いて構造

4

物の表面応力状態を変える作業を行う場合、ジェット反力が発生するため、狭隙な場所で遠隔操作により精密な表面応力状態を変える作業を行う自動機を開発する必要がある、その開発に困難を伴う課題がある。

【0019】被加工物に対してレーザー照射による入熱量が大きい場合、被加工物の表面が溶融あるいは金属組織に変化が発生し、それにより表面に圧縮ではなく引張り残留応力が形成される恐れがある。また、被加工物の表面に十分な大きさの圧縮残留応力を付与するにはプラズマの単位時間および単位面積当りの密度を確保する必要がある。

【0020】したがって、被加工物に対して直接レーザー光を照射する場合は被加工物の材質により照射条件が限定され、しかも厳しい加工条件制御が要求される課題がある。

【0021】本発明は上記課題を解決するためになされたもので、ショットの回収が不要で、ショットによる粉塵発生のための作業環境がなく、反力補償の必要がない金属材料表面の残留応力状態変化を行うことができ、加工上の効率化をはかることができ、信頼性の高いレーザーピーニング方法を提供することにある。

【0022】

【課題を解決するための手段】本発明は被加工物を透明液体中に設置し、前記被加工物表面上で照射位置を変えながらパルスレーザー光を照射して前記被加工物の表面に圧縮応力を残留させることを特徴とする。また、本発明は被加工物の表面にレーザー光を透過しない被覆層を形成しこの被覆層の上方からレーザー光を照射することを特徴とする。

30 【0023】

【作用】本発明ではパルスレーザー光のパルス幅を10ps以上、1μsec以下とし、パルスレーザー光のパルスあたりのエネルギーEとパルス時間幅tと被加工物上でのレーザースポット面積Sとしたとき、 $10^6 < E/(t \times S) < 10^{12} [w/cm^2]$  の条件を満足させることが望ましい。

【0024】その理由は被加工物の残留応力を圧縮するために必要な条件であり、この条件を満たせない場合、表面残留応力として十分な圧縮が得られなかったり、熱影響による引っ張り応力のみが残留となることがある。詳細な照射条件は対象とする材料や必要な残留応力強度、応力変化を生じさせる深さ、許容できる熱影響部の厚さ等によって決められる。

【0025】上記照射条件を得るために、被加工物でのレーザースポット面積Sを変える目的でレーザー光を集光できる光学装置とし、レーザー光照射面の近傍に対向した電極を設け、この電極と被加工物間に直流またはレーザーパルスに同期させた数10から数100Vの電圧を印加する。

【0026】レーザー光を用いて被加工物の表面応力状

5

態を変える作業を行う場合、パルス状レーザーを操作する際に被加工物の表面にはプラズマの発生効率を高める目的および被加工物への熱影響を低減する目的でレーザー光を透過しない被覆層を形成することが加工上有効である。

【0027】被加工物の加工面に被覆層を形成することにより材料に対する熱影響を極力抑え、さらに効果的にプラズマの発生をさせること、および水中におけるプラズマ閉じ込め効果により被加工物の残留応力改善の加工を効率良くしかも高い信頼性で実施できる。

【0028】被覆層を形成後あるいは直接酸化膜上からレーザーを照射することにより、加工裕度を確保し加工の信頼性を高めることができる。また、直接酸化膜上からレーザーを照射する場合は、加工時間を大幅に短縮できる。

【0029】このようにすると、レーザー光照射により発生した衝撃力で被加工物表面に圧縮残留応力を与えることができる。また、レーザー光線によるため、加工部を詳細に限定することが可能となる。また、作業時に反力が発生しないため、操作装置に余計な負荷をかけることもなく、装置の強度を高める必要もなく、取扱いの容易な装置が得られ、作業効率を高めることができる。

【0030】また、透明液体を熱的、化学的に安定な水とすることで、より確実に被加工物表面に圧縮残留応力を付与することが可能になり、かつ、水の放射線遮蔽効果により放射性物質を被加工物にした場合にも安全な加工が可能になる。

【0031】レーザー照射条件を限定することで被加工物に対し確実に圧縮応力を残留させることが可能になる。

【0032】レンズまたは、集光鏡により照射面積を小さくすることでパルス当たりのレーザー出力が十分でない場合にも、圧縮応力を残留させることができる条件で照射することができる。

【0033】パルス幅が、十分短くない等のレーザー照射の条件によっては、被加工物の表層部に熱影響による引っ張り応力が残留する場合があるが、この表層部の厚さが許容できない場合には、被加工物のレーザー光照射面とその近傍に対向して設置した電極間でレーザーで制御した放電により熱影響部の除去ができ、確実に圧縮応力の残留した表面を得ることができる。

【0034】同様に透明液体を電解液とし、被加工物のレーザー光照射面と、その近傍に対向して設置した電極間で電解研磨を行うことで、確実に圧縮応力の残留した表面を得ることができる。

【0035】加工面に被覆層を形成することにより被加工物に対する熱影響を極力抑えさらに効果的にプラズマの発生をさせること、および水中におけるプラズマ閉じ込め効果により被加工物の表面の残留応力改善加工を効率良くしかも高い信頼性で実施できる。

6

【0036】加工部に対して直接レーザーを照射する場合は被加工物の材質により照射条件が限定され、しかも厳しい加工条件制御が要求されるが、これに対して、適当な厚さのレーザー光を透過しない被覆層を形成すれば、被覆層材がプラズマの供給源になるばかりでなく、加工部材料への入熱量を極力低減する作用を兼ねることになり、加工裕度が広がるため実機加工上有利である。

【0037】被覆層の材質はレーザー光を透過しない、つまり吸収する材料であれば、絶縁体、半導体、金属いずれの種類でも良いが、非常に薄い被覆層は加工部表面に形成する必要から金属が有利である。形成方法としては金属薄膜を接着剤で張り付けるか、物理蒸着、塗布等いずれの方法でも良い。

【0038】実際に、予防保全工法としてレーザーピーニングを適用する際にはプラントの長期運転により原子炉の炉内構造物表面は酸化被膜で覆われている。均一な膜厚で被覆層を形成するためには被覆層の密着性等を考慮し、研削等の手段で酸化被膜を除去する必要がある。

【0039】金属薄膜がAl, Sn, Inなどの低融点金属である場合には0.05から0.2mmでかつ被加工物と対向電極間に数10から数100ボルトの電圧を印加して照射することにより、材料に対する熱影響を極力小さく抑え、さらに、被覆層材料がプラズマ化するため、レーザー照射後加工部表面には、被覆層材料が残存せず加工後の被覆材料除去工程を省けるため工程の簡略化が計れる。

【0040】同様に被覆層材料がW, Mo, Ta, Nb, Ti, Zr, Hfなどの高融点あるいはステンレス、インコネルなどの炉内構造物と同様でも良い。その場合は、0.03から0.15mmでかつ被加工物と対向電極間に数10から数100ボルトの電圧を印加して照射することにより同様な効果が得られる。

【0041】白金、金、パラジウム、亜鉛が被覆層材料である場合には積極的にそれらの被覆層材料を残存させることにより、レーザーピーニングによる残留応力改善効果ばかりでなく被覆層による耐食性改善効果が期待できるため応力腐食割れ対策として非常に有効である。この場合、被覆層の厚さとしては0.03mm以上が必要であるが0.25mm以上の場合には加工部の表面に十分な圧縮残留応力が付与されないため、膜厚の上限値は0.25mmである。

【0042】原子炉炉内構造物表面に形成されている酸化被膜を上記被覆膜として利用することにより同様な効果が得られる。その場合には被覆層を形成する必要がなく工程を簡略化できるばかりでなく、直接レーザー照射することによって表面残留応力改善を行うと共に酸化膜を除去する効果が期待できる。

【0043】また、加工は通常大気中で行われるが水などのレーザー光を透過する媒体中で行う方が残留応力改善上有利である。大気中での加工の場合はレーザー照射

によって発生した高温高压のプラズマが発散する傾向があるが、水中で行った場合は放射線遮蔽効果があり、安定性が高く、プラズマの閉じ込め効果があるため、その反作用により材料中に効果的に残留応力を形成することができる。

【0044】また、同様の目的で水のかわりに電解液中に被加工物を設け、レーザー光照射面に対向して負電極を設け、これと被加工物間に直流もしくはレーザーパルスに同期させた数Vから数10Vの電圧を印加して電解研磨する。

【0045】原子炉炉内構造物に適用する場合には炉水中で加工することによって、残留応力改善効果が促進され加工の信頼性を確保する意味で有効である。

【0046】

【実施例】図1を参照しながら本発明に係るレーザービニング方法の第1の実施例を説明する。

【0047】図1は、透明液体1を満たした水槽7内に設置されている被加工物2の表面に圧縮応力を残留させるレーザービニング加工装置の概念図である。パルスレーザー装置8から出射されるパルスレーザー光3は、反射鏡9により移動反射鏡10まで伝送される。移動反射鏡10で反射したレーザー光3は、被加工物2に照射される。

【0048】この時、移動反射鏡10は、パルス照射毎に被加工物2の同一表面に照射されないようにするため、加工位置を制御するために移動する。ただし、この例では一次元のみ移動を示しているが、必要に応じて移動反射鏡10を複数用いた構成にすることで二次元での加工や曲面を持った被加工物2への加工も可能となる。

【0049】また、この例では反射鏡9、10の構成によってレーザー光3を伝送する場合を示しているが、光ファイバーを1本あるいは複数本を束にしたもの等の伝送光学系を用いても同様の効果が得られる。

【0050】被加工物3の表面に圧縮応力を残留させることができるレーザー光のパルス幅とパワー密度の間には、図5に示すような関係が知られている。パルス幅が1μsec以下で、パワー密度が $10^8$  (w/cm<sup>2</sup>)以上で衝撃硬化が発生することを示している。

【0051】この衝撃硬化は、図4(a)に示すように被加工物2の表面にパルスレーザー光3が照射された時に衝撃的にプラズマ4が発生し、衝撃力5が被加工物2の表面に作用するためである。この衝撃硬化を発生する条件を満足するレーザーとしては、ガラスレーザー、YAGレーザー、銅蒸気レーザー、エキシマレーザー等がある。

【0052】レーザー衝撃硬化の効果は、被加工物2の表面にガラス、透明液体等を設けることにより高めることができる。透明液体に水を用いた場合には、水中透過性の良い近赤外から近紫外のパルスレーザー光3が望ましい。水中を遠距離透過させるためには、銅蒸気レーザ

一の青色パルスレーザー光3が適している。YAGレーザー光の倍調波を用いることができる。

【0053】つぎに上記第1の実施例の作用と効果を説明する。レーザーとしてジャイアントパルスが得られる可視レーザーを用い、透明液体として純水を満たした容器に、厚さ10mm（レーザー照射による材料の変形が発生しない厚さ）のSUS304鋼製板材を設置する。

【0054】その表面にレーザービーム直径が6mmφでパルス幅が約5nsec、パルスエネルギーが約200mJのレーザーを照射（ピーク強度 $E/(S \times t) = 140 \text{ MW/cm}^2$ ）すると、照射面を深さ5μm程度電解研磨してX線残留応力測定装置を用いて表面残留応力を測定すると、最大で約-50MPaの残留圧縮応力が得られる。

【0055】第1の実施例において、レーザー光線を焦点距離50mmの平凸レンズでビーム直径0.5φに集光し、レーザー照射（ピーク強度 $E/(S \times t) = 5 \text{ GW/cm}^2$ ）すると、照射面を深さ5μm程度電解研磨してX線残留応力測定装置を用いて表面残留応力を測定すると、最大で約-450MPaの残留圧縮応力が得られる。

【0056】第1の実施例において、レーザー装置8をパルス幅約8psecのものとし、試験片にレーザーを照射（ピーク強度 $E/(S \times t) = 1.3 \text{ TW/cm}^2$ ）すると、水のブレイクダウンによるレーザー光の散乱が発生するが、照射面を深さ5μm程度電解研磨してX線残留応力測定装置を用いて表面残留応力を測定すると、最大で約-680MPaの残留圧縮応力が得られる。

【0057】さらに、 $10 \text{ psec} < \text{レーザー光のパルス幅} < 1 \mu \text{ sec}$ 、 $10^6 \text{ W/cm}^2 < E/(S \times t) < 10^{12} \text{ W/cm}^2$ のレーザー照射条件で、レーザーに透明な液体中で材料表面に圧縮残留応力を形成することができる。

【0058】表層部に熱影響部が許容範囲を超えた厚さで形成される時には、電解研磨でこれを除去することにより被加工物2の表面に圧縮残留応力6を形成することができる。

【0059】つぎに図2により本発明の第2の実施例を説明する。第2の実施例は、第1の実施例にレーザー照射面近傍に放電電極を備え、レーザー照射による応力改善の加工と同時に発生する熱影響部の除去を放電により行うようにしたものである。

【0060】第2の実施例の基本構成は第1の実施例と同様であるが、被加工物2に対向して数10μm程度離して電極11が設置されている。この電極11は、レーザー光3の光路を妨げないようにリング形状である。電極11と被加工物2の間に電位差を与えるために電源12が接続されている。電源12として可変電圧直流電源を用いる。

【0061】つぎに第2の実施例の作用を説明する。第1の実施例と同様にパルスレーザー光3を被加工物2に照射すると図4(a)に示すように照射面に高温高压プラズマ4が発生する。この高圧プラズマ4に衝撃力5で被加工物2の表面に圧縮応力を残留させることができ、

9

電極11と被加工物2の間にプラズマ4により誘起される放電が発生し、熱影響部が除去される。(図4(b)参照)

つぎに第2の実施例の効果を説明する。レーザーとしてジャイアントパルスが得られる可視レーザーを用い、透明液体として純水を満たした容器に、厚さ10mm(レーザー照射による材料の変形が発生しない厚さ)のSUS304鋼製板材を設置する。

【0062】その表面にレーザービーム直径が0.5mmφ(焦点距離50mmの平凸レンズで集光)のレーザーを照射(ピーク強度 $E/(S \times t) = 5 \text{ GW/cm}^2$ )する。

【0063】と同時に、電極8に-200Vの印加電圧を加えると、照射面の表面残留応力をX線残留応力測定装置を用いて測定すると、最大で約-600MPaの圧縮残留応力が得られる。

【0064】第2の実施例において、純水の代わりに電解液を用い、電極11を被加工物2に対して5mm離して設置し、電極11に-5Vの印加電圧を加え、レーザーを照射(ピーク強度 $E/(S \times t) = 5 \text{ GW/cm}^2$ )する。照射面の表面残留応力をX線残留応力測定装置を用いて測定すると、最大で約-600MPaの圧縮残留応力が得られる。

【0065】つぎに図3により本発明の第3の実施例を説明する。第3の実施例は図3に示すように図1に示した第1の実施例の被加工物2の表面に約0.1mmの例えばアルミニウム膜10の被覆層13を物理蒸着で形成し、レーザーを照射して表面応力改善することにある。

【0066】第3の実施例の作用と効果を説明する。

【0067】レーザーとしてYAGレーザーを用い、透明液体として純水を満たした水深1mの容器に、厚さ10mm(レーザー照射による材料の変形が発生しない厚さ)のSUS304鋼製板材(物理蒸着で厚さ約0.1mmのアルミニウム膜形成)を設置し、その表面にレーザーのパルス幅が約5nsec、パルスエネルギーが約200mJのレーザーを焦点距離50mmの凸レンズにより集光して照射(ピーク強度 $E/(S \times t) = 5 \text{ GW/cm}^2$ )する。

【0068】照射面の表面残留応力をX線残留応力測定装置を用いて測定すると、最大で約-540MPaの残留圧縮応力が得られる。レーザー照射を受けた部分には、蒸着により形成されたアルミニウム膜は蒸発して存在しない。

【0069】第3の実施例において第1の実施例の被加工物2(インコネル600)の表面に約0.25mmのチタン膜を物理蒸着で形成し、レーザーを照射して表面応力を改善することができる。

【0070】第3の実施例における変形例の作用と効果を説明する。レーザーとしてYAGレーザーを用い、透明液体として純水を満たした水深1mの容器に、厚さ10mm(レーザー照射による材料の変形が発生しない厚さ)のインコネル600鋼製板材(物理蒸着で厚さ約0.25mmの

10

チタン膜形成)を設置する。

【0071】その表面にレーザーのパルス幅が約5nsec、パルスエネルギーが約200mJのレーザーを焦点距離50mmの凸レンズにより集光して照射(ピーク強度 $E/(S \times t) = 5 \text{ GW/cm}^2$ )する。

【0072】照射面の表面残留応力をX線残留応力測定装置を用いて測定すると、最大で約-430MPaの残留圧縮応力が得られる。レーザー照射を受けた部分には、蒸着により形成されたチタン膜は蒸発して存在しない。

【0073】第3の実施例における上記変形例の作用と効果を説明する。レーザーとしてYAGレーザーを用い、透明液体として純水を満たした水深1mの容器に、厚さ10mm(レーザー照射による材料の変形が発生しない厚さ)、50mm角のSUS304鋼製板材(物理蒸着で厚さ約0.1mmのアルミニウム膜形成)の両端を拘束した状態で中央部にビードオンプレート溶接(350MPaの引っ張り残留応力形成)したものを設置する。

【0074】その表面にレーザーのパルス幅が約5nsec、パルスエネルギーが約200mJのレーザーを焦点距離50mmの凸レンズにより集光して照射(ピーク強度 $E/(S \times t) = 5 \text{ GW/cm}^2$ )する。

【0075】照射面の表面残留応力をX線残留応力測定装置を用いて測定すると、最大で約-450MPaの残留圧縮応力が得られる。レーザー照射を受けた部分には、蒸着により形成されたアルミニウム膜は蒸発して存在しない。

【0076】このような試験片を沸騰42%塩化マグネシウムに72時間浸漬し、応力腐食割れ試験を行った場合、レーザーを照射しない溶接部には、応力腐食割れが発生するが、レーザー照射を受けた部分には割れが発生しない。

【0077】第3の実施例において被加工物2(インコネル600)として引っ張り残留応力が形成されている溶接ビード近傍の表面に被覆層13として約0.25mmのチタン膜を物理蒸着で形成し、レーザーを照射して表面応力を改善することにある。

【0078】レーザーとしてYAGレーザーを用い、透明液体として純水を満たした水深1mの容器に、厚さ10mm(レーザー照射による材料の変形が発生しない厚さ)、50mm角のインコネル600鋼製板材(物理蒸着で厚さ約0.15mmのスズ膜形成)の両端を拘束した状態で、中央部にビードオンプレート溶接(300MPaの引っ張り残留応力形成)したものを設置する。

【0079】その表面にレーザーのパルス幅が約5nsec、パルスエネルギーが約200mJのレーザーを焦点距離50mmの凸レンズにより集光して照射(ピーク強度 $E/(S \times t) = 5 \text{ GW/cm}^2$ )する。

【0080】照射面の表面残留応力をX線残留応力測定装置を用いて測定すると、最大で約-560MPaの残

11

留圧縮応力が得られる。レーザー照射を受けた部分には、蒸着により形成されたスズ膜は蒸発して存在しない。

【0081】つぎに図3により本発明の第4の実施例を説明する。第3の実施例は第1の実施例の被加工物2の表面に被覆層13として約0.1mmのSUS304箔を接着剤を用いて張り付け、レーザーを照射して表面応力を改善することにある。

【0082】つぎに、第4の実施例の作用と効果を説明する。レーザーとしてYAGレーザーを用い、透明液体として純水を満たした水深1mの容器に、厚さ10mm（レーザー照射による材料の変形が発生しない厚さ）のSUS304鋼製板材（表面にSUS304箔を接着剤を用いて張り付け）を設置する。

【0083】その表面にレーザーのパルス幅が約5nsec、パルスエネルギーが約200mJのレーザーを焦点距離50mmの凸レンズにより集光して照射（ピーク強度 $E/(S \times t) = 5 \text{ GW/cm}^2$ ）する。

【0084】照射面の表面残留応力をX線残留応力測定装置を用いて測定すると、最大で約-400MPaの残留圧縮応力が得られる。レーザー照射を受けた部分には、接着剤を用いて張り付けたSUS304箔は蒸発して存在しない。

【0085】つぎに本発明の第5の実施例を説明する。第5の実施例は第1の実施例の被加工物2（SUS304）の表面に被覆層13として酸化膜を形成し、レーザーを照射して表面応力改善することにある。

【0086】第5の実施例の作用と効果を説明する。レーザーとしてYAGレーザーを用い、透明液体として純水を満たした水深1mの容器に、厚さ10mm（レーザー照射による材料の変形が発生しない厚さ）のSUS304鋼製板材（溶存酸素量10ppm、伝導度 $0.2 \mu \text{ S/cm}$ 、288℃高温純水中に500時間浸漬処理により表面に酸化被膜形成）を設置する。

【0087】その表面にレーザーのパルス幅が約5nsec、パルスエネルギーが約200mJのレーザーを焦点距離50mmの凸レンズにより集光して照射（ピーク強度 $E/(S \times t) = 5 \text{ GW/cm}^2$ ）する。

12

（ $S \times t$ ）= 5 GW/cm<sup>2</sup>）する。

【0088】照射面の表面残留応力をX線残留応力測定装置を用いて測定すると、最大で約-320MPaの残留圧縮応力が得られる。レーザー照射を受けた部分の酸化膜は蒸発して除去される。

【0089】

【発明の効果】本発明によれば反力補償の必要がない金属表面の応力状態変化を行うことができ、加工上の効率化と信頼性を高めることができる。また、レーザーピーニングの際に被加工物表面に形成する被覆層の厚さを限定することにより、レーザー照射後の被覆層の除去工程を省くことができる。さらに、炉内構造物に適用する場合には炉内構造物表面の酸化膜をレーザー照射によって除去すると同時に酸化被覆層の蒸発によって発生するプラズマで応力改善処理を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係るレーザーピーニング方法の第1の実施例を説明するためのレーザーピーニング装置を示す概念図。

【図2】本発明に係るレーザーピーニング方法の第2の実施例を説明するための装置概念図。

【図3】本発明に係るレーザーピーニング方法の第3の実施例を説明するための装置概念図。

【図4】（a）は従来のレーザーピーニング方法の原理を説明するための模式図、（b）は（a）においてレーザー照射が終了被加工物の表面に圧縮残留応力を付与した状態を示す模式図。

【図5】レーザー光のパワー密度と照射時間による表面現象を示す特性図。

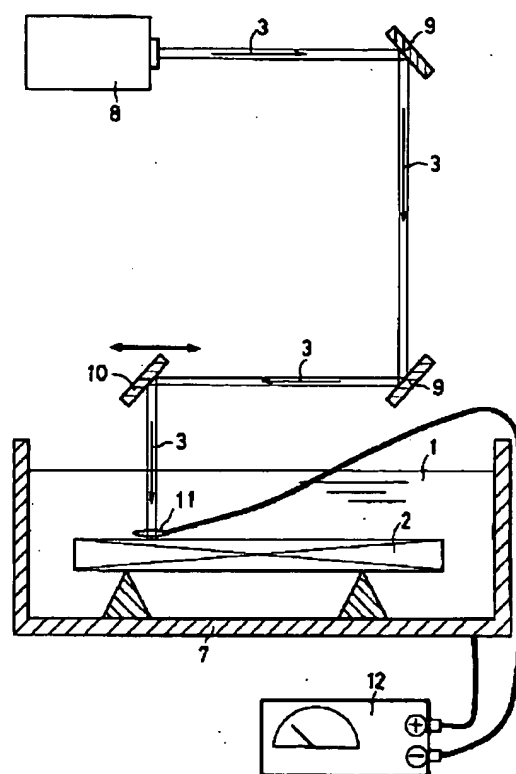
【図6】種々のレーザー加工のエネルギー範囲を示す特性図。

【符号の説明】

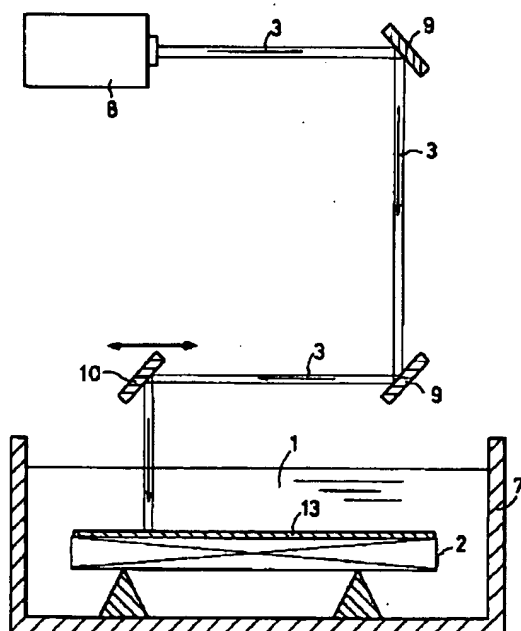
1…透明液体、2…被加工物、3…パルスレーザー光、4…プラズマ、5…衝撃力、6…圧縮残留応力、7…水槽、8…パルスレーザー装置、9…反射鏡、10…移動反射鏡、11…電極、12…電源、13…被覆層。



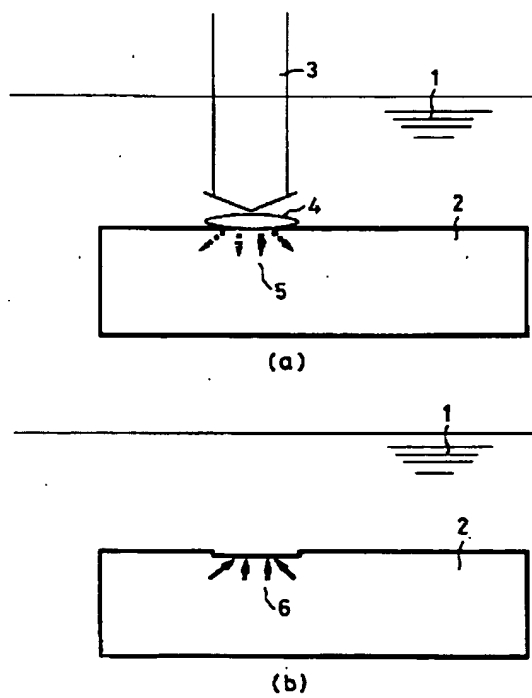
【図2】



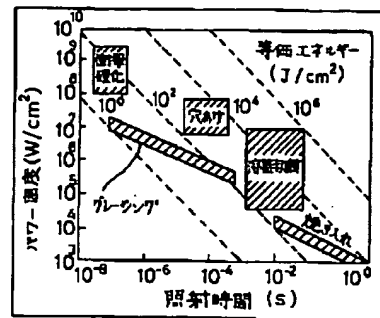
【図 3】



【图4】



【图6】



パワー密度と照射時間による表面現象

(72)発明者 向井 成彦

(72) 尧明者 小畑 稔

(72)発明者 佐藤 勝彦

—601—

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**